

Kroß, Angela; Lind, Gunter

Einfluss des Vorwissens auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben

Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 1, S. 5-25



Quellenangabe/ Reference:

Kroß, Angela; Lind, Gunter: Einfluss des Vorwissens auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben - In: Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 1, S. 5-25 - URN: urn:nbn:de:0111-opus-76757 - DOI: 10.25656/01:7675

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-76757>

<https://doi.org/10.25656/01:7675>

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ JUVENTA

<http://www.juventa.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Unterrichtswissenschaft

Zeitschrift für Lernforschung
29. Jahrgang / 2001 / Heft 1

Thema: Lernen aus Lösungsbeispielen

Verantwortlicher Herausgeber:
Alexander Renkl

Alexander Renkl: Lernen aus Lösungsbeispielen: Einführung	2
Angela Kroß, Gunter Lind: Einfluss von Vorwissen auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben	5
Robin Stark, Hans Gruber, Heinz Mandl, Ludwig Hinkofer: Wege zur Optimierung eines beispielbasierten Instruktionsansatzes: Der Einfluss multipler Perspektiven und instruktionaler Erklärungen auf den Erwerb von Handlungskompetenz	26
Alexander Renkl: Explorative Analysen zur effektiven Nutzung von instruktionalen Erklärungen beim Lernen mit Lösungsbeispielen	41
Thomas J. Schult, Peter Reimann: Automatisierte Hilfe für das Lernen aus Lösungsbeispielen	64
Michael Henninger: Auf dem Highway ist die Hölle los oder Die instruktionale Unter- stützung bei Lösungsbeispielen auf der Überholspur (Kommentar)	82
Wolfgang Schnotz: Lernen aus Beispielen: Ein handlungstheoretischer Rahmen (Kommentar)	88

Angela Kroß und Gunter Lind

Einfluss des Vorwissens auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben*

The Impact of Prior Knowledge on the Intensity and Quality of Self-Explanations during Studying Worked-Out Examples from the Domain of Biology

Die Elaborationsprozesse von Experten beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben stehen im Mittelpunkt dieses Beitrages. Es wurde das Selbsterklären lernerfahrener Schüler untersucht, die aufgrund ihrer unterschiedlichen Lerngeschichten teils über ein sehr hohes und teils über ein sehr geringes Vorwissen in der untersuchten Domäne verfügten. Das unterschiedliche Vorwissen wirkte sich in unterschiedlichen Elaborationsprofilen aus, die auf zwei Ebenen nachgewiesen werden konnten: auf der Ebene der beim Selbsterklären benutzten Fachbegriffe und auf der Ebene der Selbsterklärungsstatements, die nach der Art der beim Selbsterklären eingesetzten Inferenzen klassifiziert wurden. Es konnte gezeigt werden, dass Selbsterklären mit hohem Lernerfolg durch eine aktive Lernhaltung und den Einsatz umfangreichen Vorwissens gekennzeichnet ist. Erfolgreiche Selbsterklärer versuchen die Beispielaufgaben antizipierend zu lösen und nehmen die Beispiele zum Anlaß für weiterführende Überlegungen. Wenn das entsprechende Vorwissen nicht zur Verfügung steht, sind der Elaboration engere Grenzen gesetzt und der Lernerfolg fällt dementsprechend geringer aus. In Bezug auf den Gebrauch der Fachsprache nutzen erfolgreiche Lerner abstrakte biologische Fachbegriffe in ihren Statements, die weniger erfolgreichen dagegen eher Begriffe aus der Alltagssprache.

This article is focused on experts' elaborations while studying worked-out examples in biology. We analysed the self-explanations of experienced learners who differ in the degree of their prior knowledge in this subject due to different learning histories. Based on the analysis of thinking aloud protocols we found two self-explaining profiles with regard to pre-knowledge. The self-explaining of successful learners is characterised by an extensive use of pre-knowledge, by the attempt to solve the examples without using the given solution and by ideas going beyond the content of the worked-out example. In contrast the self-explaining of learners without sound knowledge sticks close to the text and as a consequence the learning results are poor. Additionally we found differences between the two profiles according to the use of domain specific language during self-explaining. Successful learners use more abstract biological terms than poor learners who generally use concrete everyday language.

*) Die hier vorgestellte Studie ist Teil eines von der DFG geförderten Projekts, in dem die Selbsterklärungen von Experten beim Lernen mit Beispielaufgaben in Biologie und Physik analysiert werden und in dem u. a. untersucht wird, inwieweit das Selbsterklären von einer Domäne auf eine andere transferierbar ist (LI 829/2-1).

1. Zum Lernen mit Beispielaufgaben in den Naturwissenschaften

Beispielaufgaben mit ausgearbeiteter Lösung werden in naturwissenschaftlichen Lehrbüchern seit langem verwendet. In der Regel haben sie die Funktion, allgemeine Gesetzmäßigkeiten nach ihrer Einführung zu illustrieren und deren Anwendbarkeit aufzuzeigen. Daran angeschlossen werden öfters Aufgaben, die in Analogie zu den Beispielen lösbar sind. Der Stellenwert gelöster Beispielaufgaben scheint in naturwissenschaftlichen Lehrbüchern um so größer zu sein, je mehr diese auf Problemlösekompetenz abzielen. So wird in Universitätslehrbüchern im Durchschnitt mehr Gewicht darauf gelegt als in herkömmlichen Schulbüchern. In letzteren findet man oft ein Nebeneinander von systematischer Darbietung mit wenig Bezug auf Beispiele, und Beispiele bzw. Aufgaben ohne Verweise auf den Zusammenhang mit dem Lösungsprinzip. Dem entspricht auch eine gewisse Randständigkeit der Beispielaufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht: Sie werden an die eigentliche Stoffeinführung angehängt oder gar der Hausarbeit zugewiesen.

Eine zentrale Bedeutung haben Beispielaufgaben demgegenüber für naturwissenschaftliche Schülerwettbewerbe, so für die alljährlich vom Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) betreuten Auswahlrunden zur Internationalen Biologie-, Chemie- und Physikolympiade. Die Jugendlichen, die sich für diese Wettbewerbe qualifizieren, besitzen eine weit über das schulische Niveau hinausgehende Problemlösekompetenz, die sie zu großen Teilen im Selbststudium durch die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Beispielaufgaben erworben haben. Diese Schüler besitzen umfangreiche Lernerfahrungen in einer Domäne und haben im Laufe der Zeit gelernt, Beispielaufgaben zum Lernen und erfolgreichen Problemlösen effektiv zu nutzen.

Seit Mitte der 80er Jahre setzt man sich auch innerhalb der Lehr-Lernforschung mit ausgearbeiteten Beispielaufgaben (sog. „worked-out examples“) auseinander. Dabei zeigte sich, dass Beispiele für viele Lernende beim Wissenserwerb eine weit größere als die unterstützende Rolle spielen, die ihnen im Unterricht in der Regel zugedacht wird. Lernende, insbesondere Novizen, ziehen das Lernen aus Beispielen dem Lernen aus Lehrbuchtexten vor (Pirulli & Anderson 1985, VanLehn 1986, Recker & Pirulli 1995). Diese Präferenz ist offenbar von den Merkmalen und insbesondere auch von der Qualität der Beispiele weitgehend unabhängig (Le Fevre & Dixon 1986). Offenbar sind Beispiele für Lernende beim Problemlösen sehr hilfreich. Da sich eine Beispiellösung Schritt für Schritt auf ein ähnliches Problem übertragen läßt, kann man mit ihrer Hilfe ohne viel Hintergrundwissen über die zugrundeliegenden Gesetze rein analogiebasiert Probleme lösen.

Seit den grundlegenden Arbeiten der Gruppe um Chi (Chi et al. 1989, Chi & Bassok 1989) gilt das Selbsterklären als diejenige Form der Elaboration, die dem Beispiellernen in komplexen, aber gut strukturierten Domänen wie den Naturwissenschaften, angemessen ist. Der Kern des Selbsterklärens besteht darin, dass der Lernende versucht, sich jeden einzelnen Schritt in der Argu-

mentation der Beispiellösung zu erklären. Er betrachtet den Lösungstext gewissermaßen als eine Aufgabe, die er teilweise selbständig zu lösen versucht. Die vorgegebene Beispiellösung dient der Rückmeldung. Das Selbsterklären ist Ausdruck einer problemorientierten Lernhaltung und ist insofern an das Lernen mit Beispielaufgaben optimal angepaßt (wenn auch nicht daran gebunden). Charakteristisch für das Selbsterklären sind nach Chi et al. (1994) die folgenden Merkmale:

1. Selbsterklären ist eine konstruktive Aktivität, d.h. es wird dabei neues Wissen erzeugt.
2. Selbsterklären fördert die Integration des neu gelernten Wissens in das bestehende Wissen.
3. Selbsterklären ist ein kontinuierlicher Prozess, der nicht nach einem vorgefassten Plan verläuft, sondern schrittweise durch die Interaktion von Vorwissen und Lehrtext.

Die Wirksamkeit des Selbsterklärens beim Lernen aus mathematisch-naturwissenschaftlichen Beispielaufgaben ist vielfach belegt (Physik: Chi et al. 1989; Chi & Bassok 1989; Chi & VanLehn 1991; Ferguson-Hessler & de Jong 1990; Biologie: Chi et al. 1994; Programmieren: Pirolli & Bielaczyc 1989; Pirolli & Recker 1991; Wahrscheinlichkeitsrechnung: Renkl 1997, Stark 1999, kaufmännisches Rechnen: Renkl et al. 1998a,b). Gute und schlechte Problemlöser unterscheiden sich danach quantitativ und qualitativ in der Nutzung des Selbsterklärens beim Lernen. Gute Problemlöser formulieren mehr und inhaltlich tiefgründigere Elaborationen als schlechte Problemlöser und sie verwenden darauf auch mehr Zeit.

2. Zum Einfluss des Vorwissens

Das Selbsterklären soll die Integration des Beispielwissens in das bestehende Wissen fördern. Ein reichhaltiges Vorwissen sollte die Selbsterklärungsaktivität (Anzahl der Selbsterklärungsstatements) fördern, da das Beispiel dann in vielfältiger Beziehung zum Vorwissen steht. Ein profundes Vorwissen sollte auch die Qualität der Selbsterklärungen (verständnisorientierte, fachlich elaborierte Statements) positiv beeinflussen, da die Integration des neuen Wissens gezielter verlaufen kann. Folglich sollten sich die Selbsterklärungscharakteristika von Experten und Novizen unterscheiden.

Bisherige Untersuchungsergebnisse zum Einfluß des Vorwissens auf die Selbsterklärungsaktivität widersprechen sich jedoch. Manchmal unterscheiden sich Experten und Novizen (Ferguson-Hessler & de Jong 1990; Pirolli & Bielaczyc 1989) und manchmal nicht (Chi & VanLehn 1991; Renkl 1997; Renkl et al. 1998a,b). Verglichen wurde jeweils die Zahl der Statements in verschiedenen Elaborationskategorien. Da die Kategoriensysteme unterschiedlich waren, ist ein direkter Vergleich der Untersuchungen problematisch. Darüber hinaus wurden alle diese Untersuchungen mit Novizen, d. h. mit relativ homogenen Stichproben mit geringem Vorwissen, durchgeführt, die möglicherweise

cherweise nur zum Teil in der Lage waren, die Potenzen des Selbsterklärens voll auszuschöpfen. Vielmehr scheinen falsche Erklärungen, ungelöste Verständnisprobleme und Verständnisillusionen häufig gewesen zu sein.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Selbsterklären von Fortgeschrittenen oder Semi-Experten sich qualitativ und quantitativ von demjenigen bei Anfängern unterscheidet. In der Expertiseforschung wird – oft unausgesprochen – davon ausgegangen, dass Experten sich nicht nur durch Wissen und Problemlösefähigkeit auf ihrem Gebiet auszeichnen, sondern dass sie auch in der Lage sind, domänenspezifisch neue Information leicht und schnell zu lernen. VanLehn (1989) meint dazu, eine Expertisetheorie sei möglicherweise nur als eine Theorie expertenhaften Lernens adäquat denkbar. Die wesentliche Leistung eines Experten in einer hoch entwickelten Domäne wie der Biologie ist nicht darin zu sehen, dass dieser gewisse Problemlösungen routiniert entwickeln kann, die sich ein Novize noch Schritt für Schritt erarbeiten muß, sondern dass er in der Lage ist, sich mit neuen Fragestellungen effizient auseinanderzusetzen und aus ihrer Bearbeitung zu lernen.

Ein zweiter Schwerpunkt der Forschung zum Lernen mit Beispielaufgaben besteht deshalb in der Analyse der Qualität des Selbsterklärens. Wenn in der Literatur von Qualität des Selbsterklärens die Rede ist, wird meist davon gesprochen, dass bestimmte Kategorien von Selbsterklärungen bei erfolgreichem Lernen relativ häufiger auftreten als bei weniger erfolgreichem. Solche Unterschiede sind mehrfach belegt. Gute Lerner gaben beispielsweise mehr prinzipienbasierte Erklärungen (Renkl 1997), sie stellen häufiger Verbindungen zwischen Beispielen und zugrunde liegenden Prinzipien her (Pirrolli & Recker 1994), sie konnten besser wichtige Sachverhalte identifizieren und diese auch besser strukturieren (Ferguson-Hessler & de Jong 1990).

Bestimmte Kategorienmuster deuten auf Typen des Selbsterklärens hin. Renkl (1997) konnte clusteranalytisch vier „Selbsterklärungsstile“ unterscheiden, zwei eher lernwirksame und zwei eher lernhemmende. Er betrachtet die Stile als Dispositionen, konstatiert aber auch eine Vorwissensabhängigkeit des jeweiligen Elaborationsverhaltens. Stark (1999) bestimmt faktorenanalytisch zwei „Elaborationsprofile“, die er als Strategien unter bestimmten Lernbedingungen auffaßt. In beiden Untersuchungen wird zwischen einer eher aktiven, auf tiefes Verständnis zielenden und einer eher passiven und oberflächlichen Beispielerlaboration unterschieden.

Die Häufigkeit der Statements in einzelnen Kategorien ist jedoch immer noch ein relativ formaler Indikator für die Qualität der Selbsterklärungen, da dadurch nicht wiedergegeben werden kann, ob ein Statement treffend, weiterführend, irrelevant oder gar falsch ist. Deshalb sind Kriterien in die Analyse einzubeziehen, die stärker inhaltsbezogen sind (Renkl et al. 1998a,b). Der Gebrauch der Fachsprache beim Selbsterklären ist so ein Maß. Die Nutzung fachwissenschaftlicher Begriffe beim Elaborieren kann als ein Indiz für den Verständnisgrad angesehen werden. Experten sollten dabei aufgrund ihres profunden Vorwissens die Beispiele auf einer abstrakten Ebene, die auf dem Verständnis der zugrunde liegenden biologischen Konzepte fußt, elaborie-

ren können, Novizen dagegen eher auf dem Niveau anschaulicher, eng am Beispielinhalt orientierter, konkreter Sachverhalte. Die Selbsterklärungen von Experten und Novizen sollten sich somit in dem Gebrauch von fachspezifischen bzw. alltagssprachlichen Begriffen unterscheiden.

Für die Untersuchung der Vorwissensabhängigkeit des Selbsterklärens beim Lernen mit Beispielaufgaben ergeben sich aus dem bisher Dargestellten folgende zentrale Fragestellungen:

- Inwiefern unterscheiden sich Experten und Novizen hinsichtlich ihrer Selbsterklärungsaktivität und welche Wirkung hat dies auf den Lernerfolg?

Unter Berücksichtigung der bisherigen Untersuchungsergebnisse kann eine Abhängigkeit der Selbsterklärungsaktivität vom Vorwissen angenommen werden. Experten sollten eine größere Anzahl von Bezügen zwischen dem Beispielinhalt und ihrem Vorwissen herstellen können als Novizen und dies auch in einer höheren Geschwindigkeit. Sie sollten die Beispiele prinzipiell leichter und schneller elaborieren, d.h. ihre Selbsterklärungsaktivität sollte über der der Novizen liegen. Eine höhere Anzahl an Selbsterklärungen sollte sich in der Folge positiv auf das Lernergebnis auswirken, da die Beispielelaboration intensiver erfolgt. Vorausgesetzt ist dabei, dass die Beispiele auch den Experten noch nicht bekannt sind, also nicht routiniert gelöst werden können, sondern eine Elaboration erfordern. Sind die Beispiele bzw. einzelne Elemente der Beispiellösung bereits bekannt, sollte die Elaborationsaktivität sinken. Erwartet werden kann demnach eine Wechselwirkung mit der Beispielschwierigkeit, derart, dass Vpn mit großem Vorwissen die schwierigeren Beispiele intensiver elaborieren als die leichteren, Vpn mit geringem Vorwissen dagegen die leichteren Beispiele intensiver elaborieren als die schwierigen, von denen sie überfordert sind.

- Lassen sich anhand des Auftretens von Selbsterklärungen in bestimmten Kategorien unterschiedliche Elaborationsprofile beschreiben und in welcher Relation stehen diese zu Vorwissen und Lernerfolg?

Der derzeitige Forschungsstand läßt bezüglich der Qualität des Selbsterklärens die Identifikation von wenigstens zwei Elaborationsprofilen erwarten. Das eine Profil sollte sich durch aktive Konstruktionsprozesse unter häufigem Rückgriff auf das Vorwissen auszeichnen, das andere dagegen eher durch eine passive und oberflächliche Beispielelaboration weitgehend ohne die Nutzung von Vorwissenselementen. In bezug auf das Lernergebnis sollten sich beide Profile darin unterscheiden, dass das Lernen von Vpn mit ersterem Elaborationsprofil vergleichsweise erfolgreicher sein sollte als das von Vpn mit dem zweiten Elaborationsprofil.

- Inwiefern kann die Qualität des Selbsterklärens von Experten und Novizen durch stärker inhaltsbezogene Indikatoren wie den Gebrauch der Fachsprache beim Elaborieren differenziert werden?

Auch im Gebrauch der Fachsprache sind Unterschiede in den Beispielelaborationen von Experten und Novizen zu erwarten. Experten sollten insgesamt eine höhere Anzahl und auch mehr unterschiedliche Fachbegriffe in ihre Statements integrieren, bei Novizen dagegen sollten Begriffe aus dem Alltag eine größere Rolle spielen. Es wird angenommen, dass Experten abstrakte, biologische Basiskonzepte kennzeichnende Begriffe mit Relevanz zum Lösungsprinzip verwenden, sowie auch Fachbegriffe, die nicht in den Beispieltexten erwähnt werden, darunter auch solche, die über den obligatorischen Schulstoff hinausgehen. Von Novizen wird dies generell nicht erwartet. Ihre Elaborationen sollten überwiegend Begriffe auf dem Niveau konkreter Alltagssprache beinhalten.

3. Methode

3.1 Stichprobe und Versuchsdurchführung

Um den Einfluß des Vorwissens auf das Selbsterklären zu untersuchen, wählten wir als Versuchspersonen 28 Oberstufenschüler aus, die erfolgreich an den Auswahlwettbewerben zur Internationalen Biologie- bzw. Physikolympiade teilgenommen haben¹. Diese Schüler sollten aufgrund ihrer extensiven und erfolgreichen Praxis im selbständigen Lernen mit naturwissenschaftlichen Lehrbüchern und Beispielaufgaben gleichermaßen effiziente Techniken des Selbsterklärens entwickelt haben. Hinsichtlich ihres Vorwissens in Biologie (bzw. Physik) sollten sie sich jedoch deutlich unterscheiden. Diesbezüglich sollten die Teilnehmer der Auswahlwettbewerbe zur Biologieolympiade als „Biologieexperten“ (14 Vpn) und die der Auswahlwettbewerbe zur Physikolympiade als „Biologienovizen“ (14 Vpn) betrachtet werden können. Da nur solche Vpn in die Studie einbezogen wurden, die keinen schulischen Leistungskurs in der jeweils anderen (nicht expertenhaften) Domäne besuchten, gab es keine „Doppelexperten“. Unterschiede im Selbsterklären können somit auf unterschiedliches Vorwissen zurückgeführt werden.

Die spontan generierten Selbsterklärungen dieser Vpn beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben wurden durch die Analyse von Protokollen des lauten Denkens untersucht. Als Lernmaterial diente eine Sequenz von fünf Beispielaufgaben sehr unterschiedlichen Typs, die inhaltlich miteinander verbunden und durch kurze Zwischentexte aufeinander bezogen wurden, so dass sie zusammengenommen einen kurzen Lehrgang darstellten. Einerseits sollten dadurch möglichst unterschiedliche Selbsterklärungen angeregt wer-

¹ An dem Projekt nahmen insgesamt 40 Vpn teil, 20 „Biologieexperten“ und 20 „Physikexperten“. Im Ganzen besteht das Untersuchungsdesign aus zwei vollständigen, zweifaktoriellen Versuchsplänen, einer für das Lernen mit biologischen Beispielaufgaben und einer für das Lernen mit physikalischen Beispielaufgaben. Die in diesem Beitrag präsentierten Ergebnisse des laufenden Projekts beziehen sich auf die Auswertung der Daten eines Teils der Vpn und auf eines der beiden Fächer, auf die Biologie.

den, um deren Qualität detailliert kennzeichnen zu können. Andererseits wurde dadurch sichergestellt, dass die Lernenden nicht nur die Struktur der einzelnen Aufgaben, sondern auch die des vollständigen Lehrgangs elaborieren konnten und Möglichkeiten zum Vergleich der einzelnen Beispiele hatten, die über die Oberflächenmerkmale hinausgingen.

Als Thema für die Beispielaufgabensequenz wurde die Vererbung des Retinoblastoms, einer Tumorerkrankung der Augen, gewählt. Da grundlegende Begriffe und Prinzipien (wie z.B. die Mendelschen Vererbungsgesetze) regulärer Stoff des Biologieunterrichts sind, konnte bei dieser Themenwahl davon ausgegangen werden, dass auch für die Physikexperten einige Sachverhalte aus den Beispielaufgaben nicht gänzlich neu waren, dass auch sie über ein rudimentäres Vorwissen verfügten. Darüber hinaus sollten die Inhalte für Physik- wie Biologieexperten neu und auch von Interesse sein. Die inhaltlichen Schwerpunkte der fünf Aufgaben waren: (1) Erarbeitung der autosomal dominanten Vererbung des Retinoblastoms durch die Analyse eines relativ einfachen Familienstammbaumes, (2) Kennenlernen der Vererbung des Merkmals mit einer Penetranz von 90%, (3) Auseinandersetzung mit einem authentischen Familienstammbaum zur Vererbung des einseitigen und zweiseitigen Retinoblastoms, (4) Berechnung der Mutationsrate des Merkmals in einer Population und (5) Berechnung der Allelhäufigkeiten nach dem Hardy-Weinberg-Gesetz.

Während die Beispielaufgaben selbst für alle Vpn die gleichen waren, wurden die ausgearbeiteten Lösungen in zwei Versionen erstellt, einer eher für Experten und einer eher für Novizen geeigneten. In der Expertenversion wurde viel Vorwissen vorausgesetzt, bei der Novizenversion dagegen wenig. Da für beide Gruppen das grundlegende Prinzipienwissen das gleiche sein sollte, beziehen sich die Unterschiede zum einen auf die Art der Verwendung dieses Wissens (im leichten Text wird häufiger darauf verwiesen, welches Wissen gerade verwendet wird, im schwierigen nicht) und zum anderen auf die Verwendung zusätzlichen Wissens über die Anwendung der grundlegenden Prinzipien in den schwierigen Texten (das in den leichten eigens hergeleitet wird). Der Expertentext enthielt somit mehr Lücken als der Novizentext, d.h. der Gedankengang wurde nicht in allen Einzelschritten ausgeführt. Um die beiden Textversionen gleich lang zu halten, wurde in die sonst kürzeren Expertentexte Zusatzinformation ohne Relevanz zu den Aufgaben der Lernerfolgskontrolle aufgenommen. Die beiden unterschiedlichen Textvarianten wurden jeweils von der Hälfte der „Biologie- bzw. Physikexperten“ bearbeitet. Die fünf Aufgaben zur Lernerfolgskontrolle wurden analog zu den Beispielaufgaben des Lerntextes entwickelt. Sie erforderten die Übertragung der den Beispielaufgaben zugrunde liegenden Lösungsprinzipien auf neue Anwendungszusammenhänge auf mittlerem TransfERNiveau.

Der Bearbeitung der Beispielaufgaben wurde ein kurzer Einführungstext vorangestellt. Er sollte den Experten zur Auffrischung des Wissens dienen und den Novizen elementare Information zur Verfügung stellen, die für das Verständnis der Beispielaufgaben Voraussetzung war. Der Text hatte den

Charakter eines Repetitoriums und beinhaltete grundlegende Definitionen und Gesetze, ohne diese zu erläutern.

Versuchsablauf und Variablen im Überblick:

1. Einführung in die Methode des lauten Denkens anhand von drei Beispielaufgaben ohne Bezug zum Inhalt des Lernmaterials
2. Bearbeitung eines kurzen Einführungstextes, der in die grundlegenden Begriffe und Prinzipien der zu bearbeitenden Beispielaufgaben einführt, Erhebung der Elaborationen durch lautes Denken
3. Bearbeitung einer Sequenz von fünf, inhaltlich aufeinander bezogenen Beispielaufgaben aus dem Bereich der Humangenetik, Erhebung der Elaborationen durch lautes Denken
4. Lösen von fünf analogen Problemaufgaben, die relativ eng an die Inhalte der Beispielaufgaben angelegt wurden und deren Lösung lediglich mittlere Transferleistungen erforderte

Unabhängige Variablen:

- Expertisegrad: Experten mit hohem Vorwissen vs. Novizen mit geringem Vorwissen
- Beispielschwierigkeit: wenig vs. viel Vorwissen voraussetzende Beispiele

Abhängige Variablen:

- Charakteristika des Selbsterklärens: Anzahl der Selbsterklärungen in verschiedenen Kategorien und Charakteristika des Gebrauchs der Fachsprache beim Selbsterklären
- Lernleistung: Lösen von Aufgaben, die den Beispielaufgaben analog sind

Die Bearbeitungszeit für die einzelnen Versuchsschritte wurde nicht beschränkt. Nach den Ergebnissen von Renkl (1997) und Renkl et al. (1998a,b) kann angenommen werden, dass ihr Einfluss auf die Lernergebnisse nur gering ist. Die Beispielaufgabensequenz war jedoch so gewählt, dass die Vpn durchschnittlich etwa 1 Stunde Lernzeit benötigten. Während des Lernens konnten die Schüler Skizzen machen oder mathematische Umformungen notieren. Um diese den Protokollen des lauten Denkens zuordnen zu können, wurde jeweils eine Videoaufzeichnung der Lernsituationen erstellt.

3.2 Kategorisierung der Selbsterklärungen

Da die Vpn sehr versierte Lerner sind, konnte davon ausgegangen werden, dass sie ein sehr breites Spektrum von Selbsterklärungen zeigen würden. Daher wurde der Analyse der Protokolle des lauten Denkens ein detaillierteres Kategoriensystem zugrunde gelegt als es bislang in den meisten Studien getan wurde. Denkbare Selbsterklärungstypen sollten dadurch möglichst vollständig erfaßt werden können.

Die Grobkategorisierung der Selbsterklärungen wurde nach einer Taxonomie der Inferenzen beim Textverstehen vorgenommen, die von Kintsch (1993) im Anschluß an Guthke & Beyer (1992) entwickelt wurde. Inferenzen sind dabei definiert als Veränderungen der explizit dargebotenen Textinformation unter Rückgriff auf das Vorwissen. Dieser Begriff ist insofern umfangreicher als derjenige der Selbsterklärungen, weil er auch automatisch ablaufende Prozesse umfaßt, die nicht mehr beim lauten Denken verbalisiert werden. Deshalb werden im folgenden nur die vier Kategorien angeführt, die kontrollierte Prozesse beschreiben. Klassifikationsmerkmal ist die Art der Bereitstellung des Wissens. Die vier Kategorien umfassen die in den vorliegenden empirischen Untersuchungen identifizierten Aspekte des Selbsterklärens. Sie beschreiben diese jedoch in allgemeiner Form und gehen insofern über bisherige, stark an den jeweiligen Besonderheiten der Untersuchungen orientierte Kategoriensysteme hinaus. Zur Ausdifferenzierung der vier Kategorien werden weitere Taxonomien herangezogen, sowie vorliegende empirisch gewonnene Kategoriensysteme. Im Folgenden werden die verwendeten Hauptkategorien beschrieben, das Kategoriensystem im Detail findet sich im Anhang.

Kategorie 1 – Hinzufügen von Wissen durch Abruf zugehörigen Wissens: Zur Kennzeichnung dieser Kategorie soll mit Schmalhofer (1996) von „suchorientiertem Lernen“ gesprochen werden. Dies kann einerseits den erfolgreichen Abruf von Wissen aus dem Gedächtnis betreffen, aber auch andererseits die erfolglose Suche im Vorwissen in Verbindung mit dem Versuch der Wissensrekonstruktion oder auch dem Rückgriff auf externe Wissensquellen (z. B. das Nachschlagen momentan fehlender Information im Beispieltext bzw. das noch einmal Lesen von Textpassagen). Das suchorientierte Lernen ist vermutlich diejenige Lerntechnik, die innerhalb des Selbsterklärens am häufigsten genutzt wird. Sie ist eng mit den im folgenden beschriebenen Lerntechniken verbunden, da expertenhaftes Lernen vorwissensbezogen ist. Diese Kategorie wird in Lernstatements daher häufig mit anderen zusammen vorkommen.

Kategorie 2 – Hinzufügen von Wissen durch Wissenserzeugung mittels Inferenzen: Mit Schmalhofer (1996) kann hier von „verstehensorientiertem Lernen“ gesprochen werden. Dies ist die kennzeichnende Lernform innerhalb des Selbsterklärens. Ziel ist der Aufbau einer angemessenen Textrepräsentation durch Abstraktion. Dies umfaßt sowohl Lernstatements zum Aufbau einer Textbasis als auch eines Situationsmodells (Kintsch 1988) sowie Äußerungen, die das Beispiel zum Anlaß für darüber hinausgehende Überlegungen nehmen. Die konkrete Begriffswelt der Beispiele wird in der abstrakten Begriffswelt biologischer Konzepte repräsentiert. Verstehensorientiertes Lernen ist eine „erklärungsbasierte Abstraktion“ (Schmalhofer 1996). Da der größte Teil der erhobenen Selbsterklärungen in diese Kategorie fällt, wurde eine sehr detaillierte Unterteilung vorgenommen (s. Anhang).

Kategorie 3 – Antizipatorische Beispielbearbeitung: Diese Kategorie ist in der Taxonomie von Kintsch (1993) nicht vorgesehen. In der Tat stellen die

hier zugeordneten Statements eine Kombination bestimmter Elemente der Kategorien 1 und 2 dar. Sie wird hier als eigene Kategorie aufgeführt, weil in dieser die problemorientierte Lernhaltung paradigmatisch zum Ausdruck kommt, die einen guten Selbsterklärer auszeichnen sollte: Er versucht zunächst die Lösung eigenständig zu finden und benutzt die vorgegebene Beispiellösung als Feedback bzw. als spezifische Hilfe bei Schwierigkeiten. Die Bedeutung dieser Kategorie ist empirisch erwiesen (Renkl 1997).

Kategorie 4 – Reduktion von Detailwissen durch Streichung: Die Anwendung dieser Art von Elaboration zielt auf die Extraktion von Schwerpunkten bei gleichzeitiger (evtl. unbewußter) Streichung unwichtiger Details ab. Diese „Schwerpunktextraktion“ sollte besonders für längere wissenschaftliche Lehrtexte oder Beispielsequenzen wichtig sein. Die Informationsreduktion und die Generalisierung über verschiedene Information sorgen dafür, dass der Verstehensprozess nicht durch irrelevante Einzelheiten gesteuert wird, sondern durch eine breite, vorwissensbezogene Datenbasis (Lehtinen 1992).

Kategorie 5 – Reduktion von Wissen durch Erzeugung neuen Wissens: Diese Kategorie umfaßt vor allem den weiten Bereich des „analogiebasierten“ Lernens. Dabei wird in wenig vertrauten Wissensbereichen durch Vergleich und Verallgemeinerung neues Wissen konstruiert. Die Analogien können von unterschiedlicher Art sein. Sie können sich auf Oberflächenmerkmale oder auf strukturelle Merkmale beziehen. Es kann eher um inhaltliche oder eher um funktionale Ähnlichkeiten gehen. Nach dem ACT-R Modell von Anderson (Singley & Anderson 1989) sollte das analogiebasierte Lernen für den Expertiserwerb wesentlich sein.

4. Ergebnisse

4.1 Erhebung des Vorwissens

Das Vorwissen der Vpn wurde anhand der folgenden vier Indikatoren erhoben:

1. die Domäne („Biologieexperten“ vs. „Physikexperten“),
2. die Bearbeitungszeit für den Einführungstext,
3. das negative Monitoring bei der Bearbeitung des Einführungstextes und
4. der Erfolg beim antizipierenden Lösen der Beispielaufgaben.

Durch diese Indikatoren werden jeweils unterschiedliche Aspekte des Vorwissens erfaßt. Das erste Maß ist auf die gesamte Domäne bezogen. Ursprünglich war geplant, allein dieses Außenkriterium zur Festlegung des Vorwissens zu nutzen. Für die biologischen Beispiele sollten die Teilnehmer an den Auswahlwettbewerben zur Internationalen Biologieolympiade ein großes Vorwissen mitbringen („Biologieexperten“), die Teilnehmer an den Auswahlwettbewerben zur Internationalen Physikolympiade nur ein geringes („Biologienovizen“ bzw. „Physikexperten“). Diese beiden Versuchsperso-

nengruppen waren jedoch keineswegs homogen. So gab es „Physikexperten“, die zwar in der Schule keinen Biologiekurs belegt hatten, aber aufgrund ihres allgemeinen Interesses einige Grundkenntnisse mitbrachten. Da sich alle Vpn bemühten, den Einführungstext zu verstehen, wurden die Unterschiede zwischen beiden Gruppen weiter eingegeben. Obwohl der als Repetitorium verfaßte Einführungstext kaum Anreize zum Elaborieren gab, taten insbesondere einige der „Physikexperten“ dies sehr intensiv und anscheinend auch mit einigem Erfolg. Die Bearbeitungszeiten des Einführungstextes waren extrem unterschiedlich (1½ Min. bei zwei „Biologieexperten“ vs. 55 ½ Min. bei einem sehr intensiv elaborierenden „Physikexperten“), die Ergebnisse der Vpn im Lernerfolgstest zum Teil jedoch vergleichbar. Dies wäre wohl kaum möglich, wenn die „Physikexperten“ nicht einiges aus dem Einführungstext gelernt hätten. Die Bearbeitungszeit des Einführungstextes kann somit als ein indirekter, themenspezifischer Vorwissensindikator angesehen werden. Dies trifft auch auf das dritte Maß zu, das negative Monitoring bei der Bearbeitung des Einführungstextes. Die empirischen Befunde zum Monitoring beim Selbsterklären sind nicht ganz eindeutig. Es kann jedoch als relativ gesichert gelten, dass das negative Monitoring (Äußerungen von Verständnisschwierigkeiten, Überforderung bzw. Unverständnis) tatsächlich Verständnisprobleme signalisiert (Renkl 1997, Stark 1999) und insofern einen Indikator für mangelndes Vorwissen darstellt. Das positive Monitoring (Äußerungen von Verständnis und Zustimmung) scheint jedoch nicht einfach mit Verständnis gleichgesetzt werden zu können. In den genannten Untersuchungen, wie auch in dieser, korreliert es positiv mit dem negativen Monitoring. Wir haben deshalb das positive Monitoring beim Einführungstext nicht in die Bestimmung des Vorwissensmaßes einbezogen. Der Erfolg beim antizipierenden Lösen der Beispielaufgaben schließlich ist ein direktes Maß für das themenspezifische Vorwissen. Fast alle Vpn versuchten, bevor sie sich mit der gegebenen Aufgabenlösung beschäftigten, die Aufgabe zunächst selbst zu lösen, und zwar auch dann, wenn dies ganz außerhalb ihrer Möglichkeiten lag. Offenbar war dies ein relativ eingespieltes Elaborationsverhalten. Der Erfolg dieser Bemühungen wurde in derselben Art und Weise bewertet, wie die (analogen) Problemaufgaben des Lernerfolgstests. Allerdings wurde nur die Bearbeitung des Lösungsansatzes bewertet, da die detaillierte Durchführung der Lösung oft nicht antizipierend ausgeführt, sondern dann nachgeschlagen wurde. Dieser Vorwissenindikator zeigt also, inwieweit eine Vpn in der Lage war, die Beispielaufgaben auch ohne den Lerntext prinzipiell zu lösen.

Alle vier Indikatoren messen nicht nur das Vorwissen, sondern sind noch durch andere Faktoren beeinflusst, von denen jedoch angenommen werden kann, dass sie nicht alle vier Indikatoren in gleicher Weise beeinflussen. Die vier Indikatoren wurden faktorenanalytisch zusammengefaßt. Nach den üblichen Kriterien, wie Höhe der Eigenwerte und Screeplot, war nur ein Faktor zu extrahieren. Den vier Indikatoren liegt also tatsächlich eine gemeinsame Dimension zugrunde, die als Vorwissen interpretiert werden kann. Der Faktor erklärt 62 % der Varianz. Die Faktorladungen der vier Maße sind

0,85, -0,81, -0,81 und 0,66. Alle vier Einzelmaße sind also für das so definierte Vorwissen in etwa gleich wichtig. Die Faktorwerte der einzelnen Vpn wurden als Maß für deren Vorwissen verwendet. Auch hinsichtlich dieses Vorwissensmaßes lagen alle „Biologieexperten“ vor allen „Physikexperten“. Die Information war jedoch wesentlich detaillierter als bei dem dichotomen Maß Domäne. Die Stichprobe zerfiel nicht mehr in zwei getrennte Gruppen, sondern bildete *eine* Gruppe mit normalverteiltem Vorwissen.

Das Vorwissen ist bei Aufgaben der von uns verwendeten Art üblicherweise ein sehr guter Prädiktor der Problemlöseleistung. Da zumindest einige unserer Vpn über genügend Vorwissen verfügen sollten, um die im Lernerfolgstest gestellten Aufgaben auch ohne Durcharbeiten der Beispielaufgaben lösen zu können, sollte man einen direkten Zusammenhang zwischen Vorwissen und Problemlöseleistung erwarten. Dies wurde auch gefunden. Der Zusammenhang kann als linear gelten, die Korrelation beträgt $0,39^2$

4.2 Selbsterklärungsaktivität

Als Maß der Selbsterklärungsaktivität wurde die Gesamtzahl aller beim Bearbeiten der Beispielaufgaben geäußerten Elaborationen verwendet, d.h. die Selbsterklärungen nach den oben dargestellten Kategorien, die Monitoring-statements und die (seltenen) Oberflächenelaborationen. Die so definierte Selbsterklärungsaktivität korreliert mit der Zahl der Selbsterklärungen nach den dargestellten Kategorien mit 0,986. Somit macht es kaum einen Unterschied, ob man die Monitoringstatements berücksichtigt oder nicht. Im Mittel beträgt die Zahl der Statements 268 pro Person, mit einer Standardabweichung von 138. Das Maximum von 623 bzw. das Minimum von 84 Statements wurde jeweils von „Biologieexperten“ mit etwa gleichem Vorwissen und vergleichbaren Ergebnissen im Lernerfolgstest erreicht.

Die Selbsterklärungsaktivität hängt wie zu erwarten von der Bearbeitungszeit für die Beispielaufgaben ab, wobei deren Streuung nicht so extrem wie beim Einführungstext ist. Der Mittelwert liegt bei 52 Minuten mit einer Standardabweichung von 22 Minuten. Die längste bzw. die kürzeste Bearbeitungszeit von 108 bzw. 17 Minuten wurden von einem „Physikexperten“ und einem „Biologieexperten“ mit vergleichbarem, mittlerem Vorwissen und fast gleicher, etwas unterdurchschnittlicher Punktzahl im Lernerfolgstest benötigt.

Um den Einfluß der Bearbeitungszeit auf die Selbsterklärungsaktivität zu berücksichtigen, wurde die Selbsterklärungsintensität als Quotient der Zahl

² Alle angegebenen Korrelationskoeffizienten sind Rangkorrelationen nach Spearman. Sie wurden auf zwei Stellen gerundet. Zweiseitige Signifikanz auf dem 5 % Niveau ist durch einen Stern, auf dem 1 % Niveau durch zwei Sterne bezeichnet. Die Verträglichkeit des Zusammenhanges mit dem linearen Modell wurde jeweils überprüft.

der Selbsterklärungen und der Bearbeitungszeit definiert. Sie ist somit ein Maß für die Selbsterklärungsaktivität, normiert auf die Zeiteinheit.

Im Folgenden sind die Ergebnisse zum Einfluß des Vorwissen auf die Selbsterklärungsaktivität/-intensität sowie die Ergebnisse zur Abhängigkeit des Lernerfolgs von der Selbsterklärungsaktivität/-intensität im Überblick dargestellt:

- Zwischen dem Vorwissen und der Selbsterklärungsaktivität gibt es keinen Zusammenhang ($r = 0,11$).
- Die Bearbeitungszeit der Beispielaufgaben ist dagegen vom Vorwissen abhängig. Sie ist um so größer, je kleiner das Vorwissen ist ($r = -0,57^{**}$).
- Die Selbsterklärungsintensität korreliert daher mit dem Vorwissen ($r = 0,42^{*}$). Ein ähnliches Ergebnis erhält man, wenn man den Einfluß der Lernzeit aus der Korrelation von Vorwissen und Selbsterklärungsaktivität auspartialisiert ($r = 0,33$).

Bei gleicher durchschnittlicher Gesamtzahl der Selbsterklärungen elaborieren Experten somit schneller als Novizen. Der Unterschied ist jedoch nicht sehr groß.

- Weder die Selbsterklärungsaktivität noch die Selbsterklärungsintensität haben einen wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse im Lernerfolgstest ($r = -0,17$ bzw. $r = -0,08$).
- Das gleiche gilt für die Lernzeit ($r = -0,15$). Die sehr unterschiedlichen Lernzeiten der Vpn haben offenbar das Ergebnis nicht beeinflusst.

Anscheinend wußten die Vpn sehr gut einzuschätzen, wie intensiv sie eine Beispielaufgabe elaborieren mußten, um das ihrem Vorwissen entsprechende Verständnisniveau zu erreichen.

Die Beispielschwierigkeit hatte in unserer Untersuchung keinen feststellbaren Einfluß, weder auf die Selbsterklärungsaktivität ($r = -0,01$) noch auf die Lernzeit ($r = 0,01$) bzw. den Lernerfolg ($r = -0,00$). Die erwartete Wechselwirkung von Vorwissen und Beispielschwierigkeit auf die Selbsterklärungsaktivität konnte nicht nachgewiesen werden.

4.3 Qualität des Selbsterklärens

Die auf der Basis des oben dargestellten Kategoriensystems verschlüsselten Selbsterklärungen wurden zur Ermittlung von bestimmten Typen des Selbsterklärens einer Faktorenanalyse unterworfen. Nach der Höhe der Eigenwerte und dem Screeplot war eine 4-Faktoren-Lösung zu präferieren. Die einzelnen Faktoren erklärten 24 %, 20 %, 17 % und 11 %, insgesamt also 72 % der Varianz. Im folgenden ist die Interpretation der varimax-rotierten Faktoren angegeben. Die Ladungen zeigten weitgehend eine Einfachstruktur. Nur wenige der Kategorien konnten nicht eindeutig einem Faktor zugeordnet werden (insbesondere Kategorie 5 - analogiebasiertes Lernen).

Faktor 1: Vorwissensbezogenes Selbsterklären: Die charakteristischen Kategorien mit hohen Ladungen ($> 0,6$) sind hier: 1.1.2 „Abruf von Vorwissen“, 2.2.1 „Schlußfolgern“, alle Kategorien unter 2.3 „weiterführende Inferenzen“ und die Kategorie 3. „antizipatorische Beispielbearbeitung“.

Charakteristisch für den Faktor ist die Kombination des Rückgriffs auf das Vorwissen mit der zentralen Kategorie des kleinschrittigen Selbsterklärens (2.2.1) und denjenigen Kategorien aus dem Bereich der Inferenzen, die ein aktives, über den Beispieltext hinausgehendes Elaborieren kennzeichnen (2.3). Dies äußert sich besonders augenfällig in einer antizipatorischen Beispielbearbeitung.

Zur Beispielelaboration wird vornehmlich bereits vorhandenes Wissen genutzt bzw. das, was in den unmittelbar zuvor durchgearbeiteten Beispielaufgaben gelernt wurde und dann aus dem Gedächtnis wieder erinnert werden kann. Die Kategorien des Nachschlagens und noch einmal Lesens in den Beispielaufgaben (1.3.1 und 1.3.2) laden auf dem ersten Faktor negativ. Dementsprechend korreliert der Faktor 1 hoch signifikant mit dem Vorwissen der Vpn ($r = 0,52^{**}$) und folglich auch signifikant mit dem Lernergebnis im Problemlösetest ($r = 0,47^{*}$).

Faktor 2: Selbsterklären bei Mangel an Vorwissen: Hohe Ladungen ($> 0,50$) haben hier die Kategorien 1.1.1 „Nennung von Wissenselementen aus dem Lernmaterial“, 1.2 „Suche nach Beziehungen zwischen Begriffen“ und 1.3 „Nachschlagen und noch einmal Lesen“. Hinzu kommen die Kategorien des Bereichs 2.1 „Inferenzen zum Aufbau einer Textbasis“ (bis auf das dem Faktor 3 zugeordnete „Formeln verbalisieren“) sowie aus dem Bereich 4 die Kategorien 4.1 „Zieldefinitionen“ und 4.3 „Detailreduktionen“.

Charakteristisch für den Faktor ist die Suche nach nicht unmittelbar verfügbarem Wissen und der direkte Rückgriff auf in den Beispielaufgaben gegebene Information. Die Korrelation des Faktors 2 mit dem Vorwissen ist negativ ($r = -0,27$; sign. auf dem 10%-Niveau). Das Selbsterklären beschränkt sich hier zunächst auf den Aufbau einer Textbasis. Die Entwicklung eines Situationsmodells gelingt noch nicht. Es ergibt sich eine hoch signifikante negative Korrelation mit den Ergebnissen des Lernerfolgstests ($r = -0,57^{**}$). Interessant ist, dass einige Aspekte des Bereichs 4. „Schwerpunktextraktion“ hiermit zusammenfallen und somit nicht als eine weiterführende Art der Elaboration erscheinen, sondern eher als ein Notnagel.

Die zwei weiteren *Faktoren 3 Mathematisches Selbsterklären* und *4 Großstrukturenbezogenes Selbsterklären* sollen an dieser Stelle benannt, jedoch nicht ausführlich dargestellt werden. Es handelt sich beim Faktor 3 um die mit Mathematisierungen zusammenhängenden Kategorien 2.1.3, 2.2.2 und 2.2.3, die für die hier betrachteten biologischen Beispielaufgaben nur sekundär sind. Die Mathematisierung sollte jedoch in dem physikalischen Projektteil eine wesentlich größere Rolle spielen, dessen Auswertung noch aussteht. Auf dem letzten Faktor 4 laden die Kategorien aus dem Bereich 4 hoch, die offenbar nicht für das Selbsterklären insgesamt charakteristisch zu sein

scheinen, sondern nur für das Selbsterklärungsprofil gewisser Personen. So werden Textzusammenfassungen bzw. Zieldefinitionen von vielen Vpn kaum, von einigen hingegen relativ häufig verwendet. Beide Faktoren korrelieren weder mit dem Vorwissen noch mit dem Lernergebnis substantiell.

Zur Überprüfung der Stabilität der Faktorstruktur wurden mehrfach 24 der 28 Vpn per Zufall ausgewählt und für diese die Faktorenanalyse wiederholt. Die Faktoren bleiben dabei in der dargestellten Form erhalten, tauschen jedoch teilweise die Reihenfolge. Auch die Höhe der signifikanten Korrelationen zwischen den Faktoren 1 und 2 sowie dem Vorwissen und dem Lernerfolg änderte sich nur unwesentlich. Die extrahierte Faktorstruktur kann also als hinreichend stabil angesehen werden.

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass durch die Faktorenanalyse zwei Elaborationsprofile identifiziert werden konnten, die durch den Umfang des Vorwissens und einen dadurch abgesteckten Elaborationsspielraum gekennzeichnet sind. Will man die beiden Elaborationsprofile durch einzelne, besonders charakteristische Elaborationskategorien kennzeichnen, so ist dies für das erste Profil die Kategorie 3 „antizipatorische Beispielbearbeitung“. Sie kennzeichnet paradigmatisch die aktive Lernhaltung beim guten Selbsterklären. Für das zweite Profil sind es die Kategorien 1.3.1 und 1.1.1, also der Rückgriff auf das in den vorherigen Beispielen erarbeitete Wissen (durch Nachschlagen oder Erinnern). Bei linearer Regression erklären diese drei Variablen 50 % der Variation des Lernergebnisses.

4.4 Gebrauch der Fachsprache beim Selbsterklären

Eine weitere Kennzeichnung der beiden Elaborationsprofile kann man durch die Untersuchung des Gebrauchs der Fachsprache beim Selbsterklären erhalten. Die Analyse der Selbsterklärungsstatements (nach den verschiedenen Kategorien des Selbsterklärens) wird damit durch eine inhaltsbezogenere Analyse auf Begriffsebene ergänzt. Hierzu wurden alle Begriffe ausgewertet, die von den Vpn zur Kennzeichnung biologischer Sachverhalte beim Selbsterklären verwendet wurden. Semantisch eng zusammenhängende Begriffe (z.B. substantivische oder verbale Kennzeichnung eines Sachverhalts) wurden zusammengefaßt. Es ergaben sich insgesamt 427 Begriffe, von denen 163 nur einmal vorkamen.

Die Begriffe wurden in fünf Gruppen eingeteilt, die eine Hierarchie darstellen, und diese dann mit den identifizierten Faktoren 1 und 2 in Relation gesetzt. Im folgenden sind die Begriffsgruppen benannt und jeweils angegeben, wie hoch sie mit den Faktorwerten korrelieren.

- a) Fachbegriffe, die weder im Text zu den Beispielaufgaben vorkommen noch zum Kern des normalerweise üblichen Schulstoffes gehören (z.B. immunmodulatorisch, Syn- bzw. Paradaktylie, Locus): $r_1 = 0,65^{**}$, $r_2 = 0,19$.

- b) Fachbegriffe, die zwar nicht in den Beispieltexten vorkommen, aber zum Schulstoff gehören (z.B. Enzym, Evolution, Fitness, Immunsystem): $r_1 = 0,57^{**}$, $r_2 = 0,25$.
- c) Fachbegriffe aus den Beispieltexten (z.B. Allel, Hardy-Weinberg-Gesetz, heterozygot). Diese Kategorie ist verständlicherweise am stärksten besetzt: $r_1 = 0,26$, $r_2 = 0,51^{**}$.
- d) Alltagsbegriffe, die auch in der biologischen Fachsprache verwendet werden und in dieser Eigenschaft in den Beispielaufgaben vorkommen (z.B. Auge, Krebs, vererben): $r_1 = -0,01$, $r_2 = 0,39^*$.
- e) textfremde Alltagsbegriffe, die normalerweise in biologischen Fachtexten nicht vorkommen (z.B. Herr, Leute, Nicht-Krebstyp, Ehepaar): $r_1 = 0,20$, $r_2 = 0,37^*$.

Jede der fünf Begriffsgruppen kann also eindeutig einem der beiden Elaborationsprofile zugeordnet werden, die ersten beiden mit den nicht in den Beispieltexten vorkommenden Fachbegriffen dem Profil 1, die letzten drei mit den Begriffen aus dem Text und aus dem Alltag dem Profil 2. Damit wird die im vorigen Abschnitt gegebene Interpretation der beiden Profile durch eine zweite, auf andern Daten beruhende Methode gestützt: Das erste Profil ist durch den Rückgriff auf das Vorwissen des Selbsterklärs gekennzeichnet. Wo dieses Wissen erworben wurde, d.h. ob es sich um Schulwissen handelt oder um über das Schulwissen hinausgehendes, im Eigenstudium erworbenes Wissen, scheint dabei keine wesentliche Rolle zu spielen. Das zweite Profil ist demgegenüber durch die Verwendung von vorgegebenem Wissen aus den Beispielaufgaben bzw. von Alltagswissen gekennzeichnet. Interessant ist, dass in Kategorie e) eine Reihe von „Neuschöpfungen“ auftreten, mit denen biologische Sachverhalte bezeichnet werden, für die der zugehörige Fachbegriff (und dann wohl auch das mit diesem Begriff assoziierte Fachwissen) unbekannt ist.

Erwartungsgemäß korrelieren die Kategorien a und b mit dem Vorwissen ($r_a = 0,54^{**}$, $r_b = 0,25$), die anderen drei nicht. Die Korrelationen mit dem Lernergebnis sind nicht substantiell und deutlich kleiner als bei den beiden Elaborationsprofilen. Dies könnte so gedeutet werden, dass das Vorwissen seinen Einfluß auf das Lernergebnis überwiegend in der Vermittlung durch die Elaboration ausübt. Dafür spricht auch, dass bei linearer Regression von Vorwissen und den beiden Elaborationsprofilen auf die Lernleistung das Vorwissen nicht substantiell zur Prognose der Lernleistung beiträgt.

Um die Unterschiede zwischen den beiden Elaborationsprofilen auf der Ebene der biologischen Inhalte noch besser herauszuarbeiten, wurde die Stichprobe geteilt in Vpn, die bei Profil 1 die höheren Faktorwerte haben (13 Vpn) und Vpn, die bei Profil 2 die höheren Werte haben (11 Vpn). Vier Vpn, deren Werte für beide Faktoren etwa gleich groß waren, wurden ausgeschlossen. Für jede der beiden Gruppen wurde eine Liste der bei der Elaboration am häufigsten verwendeten Begriffe aufgestellt und die Rangfolgen miteinander verglichen.

Sechs der ersten 10 der am häufigsten genannten Begriffe sind in beiden Gruppen solche, die im Mittelpunkt der Beispielaufgaben standen und folglich in diesen auch sehr häufig explizit genannt wurden (z.B. Gen, Mutation, Penetranz). Die Auseinandersetzung mit den Beispielaufgaben führte somit fast zwangsläufig zum Gebrauch dieser Begriffe. Demzufolge ist auch zu erwarten, dass die den beiden Elaborationsprofilen zugeordneten Vpn diese Begriffe in ihren Selbsterklärungen gleichermaßen häufig gebrauchten.

Interessante Unterschiede lassen sich in der Nutzung von Begriffen feststellen, die eher basale biologische Konzepte bzw. eher den behandelten, spezifischen Fall darstellen. So nutzen die Vpn, die bei Elaborationsprofil 1 die höheren Faktorwerte aufweisen, im Vergleich zu den Vpn mit hohen Werten auf Profil 2 deutlich häufiger relativ abstrakte, grundlegende biologische Begriffe wie z.B. 'Allel', 'Merkmal', 'Chromosom'. Auffällig wenig wird mit dem Begriff 'Retinoblastom', der in den Beispielaufgaben behandelten Krankheit, argumentiert. Vielmehr nutzen die Vpn mit Elaborationsprofil 1 lediglich die Unterscheidung 'krank' bzw. 'gesund'. Auf Grund ihrer umfangreichen Erfahrung ist ihnen klar, dass zur Analyse eines Stammbaumes spezifische Information über die konkrete Erbkrankheit meist wenig hilfreich ist. Zum Verständnis bzw. zur eigenständigen Lösung der Beispielaufgaben abstrahieren sie vom konkreten Fall zu übergeordneten Prinzipien der Vererbung.

Vpn mit dem Elaborationsprofil 2 dagegen äußern eher Begriffe, die Grobstrukturen in den Beispielaufgaben beschreiben (z.B. 'Generation', 'Kind', 'Sohn') bzw. solche, die eng mit dem konkreten Fall der thematisierten Erkrankung zusammenhängen. Relativ häufig werden beispielsweise Begriffe genannt, wie 'Retinoblastom', 'Krebs' und 'Auge'. So steht der Ausdruck 'Retinoblastom' in der Rangfolge der Begriffe der Vpn mit Elaborationsprofil 2 an Stelle 13, bei den Vpn mit Elaborationsprofil 1 erst an Platz 29. Die von den Vpn mit Elaborationsprofil 1 genannten, eher abstrakten Begriffe rangieren dagegen bei Vpn mit Elaborationsprofil 2 in der Rangfolge der häufigsten Begriffe deutlich im hinteren Feld.

5. Diskussion

Selbsterklären soll die Integration des Beispielwissens in das bestehende Wissen fördern. Es erscheint somit plausibel, dass die Selbsterklärungsaktivität vom Vorwissen beeinflusst ist. Wir hatten eine Wechselwirkung mit der Beispielschwierigkeit erwartet, derart, dass Vpn mit umfangreichem Vorwissen die schwierigen Beispiele intensiver elaborieren als die leichten, bei denen sie keine großen Selbsterklärungsanstrengungen zum Verständnis benötigen und dass Vpn mit geringem Vorwissen die leichteren Beispiele intensiver elaborieren als die schwierigeren, von denen sie überfordert sind. Für jede Vpn sollte es einen vorwissensabhängigen Schwierigkeitsbereich geben, bei dem die Selbsterklärungsaktivität optimal angeregt wird.

Eine solche Wechselwirkung wurde nicht gefunden und es gab auch keinen Haupteffekt der Beispielschwierigkeit auf die Selbsterklärungsaktivität/-intensität. Dabei bemerkten unsere Vpn den Unterschied zwischen beiden Beispielvarianten durchaus, was aus dem Monitoring hervorgeht. Dort werden Redundanzen im leichteren Text und fehlende Zwischenschritte im schweren Text bemängelt. Aber die mehr oder weniger großen Anforderungen an die Beispielelaboration haben offenbar das Verständnis nicht wesentlich beeinflusst. Vielleicht war das Unterscheidungskriterium für die beiden Textvarianten (Lücken vs. Redundanzen) nicht konstitutiv für die Schwierigkeit des Verstehens der Beispiele. Denkbar ist, dass die eigentlichen Schwierigkeiten eher im Verständnis der konzeptuellen Struktur zu suchen sind.

Möglicherweise sind die Selbsterklärungsaktivität/-intensität aber auch zu grobe Indikatoren für die Beschreibung der beim Selbsterklären stattfindenden kognitiven Aktivitäten. Dafür spricht, dass beide Variablen keinen Zusammenhang mit dem Lernergebnis zeigen. In diesem Punkt widersprechen unsere Ergebnisse den Befunden von Chi et al. (1989) und Pirolli & Recker (1994), die über einen positiven Einfluß der Selbsterklärungsaktivität auf das Lernergebnis berichten. Sie stützen die Ergebnisse von Ferguson-Hessler & de Jong (1990) und Stark (1999), die gleichfalls keinen Einfluß der Selbsterklärungsaktivität auf den Lernerfolg nachweisen konnten.

Vielmehr legen die Lernprotokolle unserer Vpn eine Abhängigkeit der Selbsterklärungsaktivität von Variablen wie Motivation oder Konzentriertheit nahe. Es gibt Vpn, die fast nur „treffende“, innerhalb des jeweiligen Gedankenganges folgerichtige Statements formulierten und entsprechend ökonomisch elaborierten. Bei anderen gibt es deutliche Zeichen von Unkonzentriertheit, wie noch einmal Lesen eines Satzes, der gerade zuvor gelesen wurde, Wiederholen eigener Aussagen, Mißverständnisse durch oberflächliches Lesen, die dann korrigiert werden müssen bzw. wiederholter Beginn der Beispielelaboration, weil der Zusammenhang verloren gegangen ist. All dies führt zur Erhöhung der Selbsterklärungsaktivität ohne dass eine Beeinflussung des Lernerfolgs in gleicher Weise zu erwarten wäre.

Aus unseren Ergebnissen kann sicher nicht geschlossen werden, dass die Beispielschwierigkeit, die Selbsterklärungsaktivität und die Lernleistung voneinander unabhängig seien. Jedoch scheinen die Einflüsse durch individuelle (und evtl. auch situative) Besonderheiten überdeckt zu werden, welche die Selbsterklärungsaktivität dominieren.

Damit rückt die inhaltliche Auswertung der Selbsterklärungsstatements in den Mittelpunkt. Die beiden von uns identifizierten Elaborationsprofile scheinen inhaltlich mit den von Stark (1999) gefundenen identisch zu sein. Sie können jedoch mit Hilfe des in dieser Studie verwendeten differenzierten Kategoriensystems präziser beschrieben werden. Selbsterklärungen dem Profil 2 entsprechend bleiben weitgehend an der Textoberfläche und dienen zunächst einmal dem Aufbau einer Textbasis (was bei einem Fachtext eine komplexe Aufgabe sein kann). Es wird mit anschaulichen, dem konkreten Beispiel entlehnten Fachbegriffen bzw. alltagssprachlichen Begriffen ope-

riert. Auf diese Weise wird eine einfache Beispielrepräsentation (Reimann 1997) entwickelt, in der das neu erlernte Wissen noch weitgehend isoliert ist. Das Elaborationsprofil 1 zielt auf die Erstellung eines Situationsmodells des Beispiels und damit auf ein „tieferes“ Verständnis ab. Ergebnis ist eine elaborierte Beispielrepräsentation (Reimann 1997), in der das Beispiel in das Vorwissen integriert ist. In die Elaborationen fließen abstrakte Fachbegriffe aus dem Beispieltext gleichermaßen ein wie Fachbegriffe (auf Schulniveau und darüber hinaus), die damit im Zusammenhang stehen jedoch nicht erwähnt werden.

Beide Profile erscheinen nicht als situationsunabhängige „Lernstile“. Sie spiegeln vielmehr den Expertisegrad einer Vp in der betreffenden Domäne wider. Damit erscheinen auch die Möglichkeiten des Transfers von Selbsterklärungsgewohnheiten von einer Domäne auf eine andere in einem anderen Licht: sie werden durch das Vorwissen begrenzt. Auch erfahrenen Lernern sind in einer ihnen fremden Domäne bezüglich der Qualität der Beispielelaboration Grenzen gesetzt und infolgedessen auch in bezug auf die Lernwirksamkeit des Selbsterklärens bei der Bearbeitung von Beispielaufgaben.

Literatur

- Chi, M.T.H. & K.A. VanLehn (1991): The content of physics self-explanations. *The Journal of the Learning Sciences*. Vol. 1, 1, 69-105.
- Chi, M.T.H. & M. Bassok (1989): Learning from examples via self-explanations. In: Resnick, L.B. (Ed.): *Knowing, learning, and instruction: Essays in honour of Robert Glaser*. Hillsdale New York: Erlbaum.
- Chi, M.T.H., M. Bassok, M.W. Lewis, P. Reimann & R. Glaser (1989): Self-Explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*. 13, 145-182.
- Chi, M.T.H., N. de Leeuw, M.-H. Chiu & C. LaVancher (1994): Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*. 18, 439-477.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. & T. de Jong (1990): Studying physics texts: Differences in study processes between good and poor performers. *Cognition and Instruction*. 7, 41-54.
- Guthke, T. & R. Beyer (1992): Inferenzen beim Satz- und Textverstehen. *Zeitschrift für Psychologie*. Vol. 200, 321-344.
- Kintsch, W. (1988): The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*. 95, 163-182.
- Kintsch, W. (1993): Information accretion and reduction in text processing: inferences. *Discourse Processes*, 16 193-202.
- Le Fevre, J.-A. & P. Dixon (1986): Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*. Vol. 3, 1, 1-30.
- Lehtinen, E. (1992): Lern- und Bewältigungsstrategien im Unterricht. In: Mandl, H. & H.F. Friedrich (Hg.): *Lern- und Denkstrategien: Analyse und Intervention*. Göttingen, Toronto, Zürich: Hogrefe-Verlag für Psychologie.
- Pirolli, P. & J. R. Anderson (1985): The role of learning from examples in the acquisition of recursive programming skills. *Canadian Journal of Psychology*, 39, 240-272.

- Pirolli, P. & K. Bielaczyc (1989): Empirical analyses of self-explanation and transfer in learning to program. In: *Proceedings of the 11th Annual Conference of the cognitive Science Society*. 450-457. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pirolli, P. & M. Recker (1991): Knowledge construction and transfer: Using an intelligent tutoring system. Report No. CSM-1. Bekeley, CA: Univeristy of California at Berkeley.
- Pirolli, P. & M. Recker (1994): Learning strategies and transfer in the domain of programming. *Cognition and Instruction*. 12, 235-275.
- Recker, M. & P. Pirolli (1995): Modelling individual differences in students' learning strategies. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 1-38.
- Reimann, P. (1997): *Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen*. Bern: Huber.
- Renkl, A., B. Stark, H. Gruber & H. Mandl (1998a): Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 90-108.
- Renkl, A., B. Stark, H. Gruber & H. Mandl (1998b): Förderung des Wissenstransfers im Bereich des kaufmännischen Rechnens durch Anleitung zur Selbsterklärung und multiple Beispiele. In Alisch, L.-M. (Hg.): *Externale und interne Beschreibungen. Anwendungen empirisch-pädagogischer Forschungsmethodik*. Münster: Waxmann.
- Renkl, A. (1997): Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*. Vol. 21, 1-29.
- Schmalhofer, F. (1996): Maschinelles Lernen. In: Hoffmann, J. & W. Kintsch (Hg.): *Enzyklopädie der Psychologie*. Bd. 7, 445-501, Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Singley, M.K. & J.R. Anderson (1989): *Transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press.
- Stark, R. (1999): *Lernen mit Lösungsbeispielen*. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- VanLehn, K. (1986): Arithmetic procedures are induced from examples. In: Hiebert, J.: *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- VanLehn, K. (1989): Problem solving and cognitive skill acquisition. In: Posner, M.J. (Ed.): *Foundations of cognitive science*. Cambridge, MA, London: MIT Press.

Anschrift der Autoren:

Dr. Angela Kroß und Prof. Dr. Gunter Lind

Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel

Olshausenstraße 62, 24098 Kiel

email: kross@ipn.uni-kiel.de

Anhang

Übersicht über das Kategoriensystem zur Analyse der Selbsterklärungen von Experten beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben

1. Hinzufügen von Wissen durch Abruf zugehörigen Wissens

- 1.1 Nennung von Wissenselementen, die nicht in der gerade bearbeiteten Beispielaufgabe behandelt werden (erfolgreicher Abruf von Wissen)
 - 1.1.1 aus dem Vorbereitungstext und vorherigen Beispielen
 - 1.1.2 aus dem Gedächtnis, d. h. von nicht in der Lerneinheit erwähntem Wissen
- 1.2 Suche nach Beziehungen zwischen vorkommenden Begriffen (Die Vp weiß, dass eine Beziehung existiert, erinnert diese jedoch nicht auf Anhieb und versucht, die Beziehung zu rekonstruieren.)
- 1.3 Nachschlagen und noch einmal Lesen (expliziter Rückgriff auf externe Wissensquellen)
 - 1.3.1 im Vorbereitungstext bzw. in vorherigen Beispielen
 - 1.3.2 im Text zu dem gerade behandelten Beispiel

2. Hinzufügen von Wissen durch Wissenerzeugung mittels Inferenzen

- 2.1 Inferenzen, die dem Aufbau einer Textbasis dienen
 - 2.1.1 Paraphrasierungen zwischen Alltags- und Fachsprache
 - 2.1.2 Herstellen von Beziehungen zwischen unterschiedlich repräsentierter Information, z. B. zwischen Text, Formeln und Abbildungen
 - 2.1.3 „mathematisches Paraphrasieren“, d. h. Formeln verbalisieren
 - 2.1.4 Beschreibung von Lösungswegen
- 2.2 Inferenzen, die dem Aufbau eines Situationsmodells dienen
 - 2.2.1 Schlußfolgerungen unter Verwendung der in der Beispielaufgabe gegebenen Information
 - 2.2.2 „mathematisches Schlußfolgern“, d. h. Herleiten von Formeln
 - 2.2.3 Berechnen gesuchter Größen, d. h. Zahlenrechnungen
 - 2.2.4 Diagnose eigener Fehler beim Elaborieren
- 2.3 Weiterführende Inferenzen
 - 2.3.1 Bemerkungen zum methodischen Vorgehen
 - 2.3.2 eigene Ideen zum Beispielinhalt
 - 2.3.3 Zweifel am Text
 - 2.3.4 inhaltliche Bewertung des Textes

3. Antizipatorische Beispielbearbeitung

4. Reduktion von Detailwissen durch Streichung (Schwerpunktextraktion)

- 4.1 Zieldefinitionen
- 4.2 Schwerpunktsetzungen
- 4.3 Detailreduktionen
- 4.4 Textzusammenfassungen

5. Reduktion von Wissen durch Erzeugung neuen Wissens („analogiebasiertes“ Lernen)

6. Oberflächenelaborationen

7. Monitoring

- 7.1 Verständnisstatements
- 7.2 Mißverständnisstatements
- 7.3 Statements über Neues und Interessantes
- 7.4 Statements zum Umgang mit dem Text